

# PRIMER INTENT DE MESURAR L'EDAT DEL COMPARTIMENT MARÍ DE $^{14}\text{C}$ DE LES AIGÜES COSTANERES DE LES ILLES BALEARS

per Mark VAN STRYDONCK <sup>1</sup>, Mathieu BOUDIN <sup>1</sup> i Damià RAMIS <sup>2</sup>

## Resum

La concentració del  $^{14}\text{C}$  a l'oceà és diferent a la que presenta aquest isòtop a l'atmosfera. Per tant, s'ha de tenir en compte aquest factor a l'hora de realitzar la datació radiocarbònica de mostres de procedència marina. Això significa que és necessari conèixer el valor regional del compartiment marí de  $^{14}\text{C}$  al moment en què l'organisme datat vivia. S'ha realitzat un primer intent de calcular la concentració de  $^{14}\text{C}$  de les aigües costaneres de les Balears, per al qual s'han fet servir materials de les excavacions arqueològiques del Pla de ses Figueres (Cabrera) i de Bóquer (Pollença). Ambdós jaciments presenten acumulacions de múrex relacionades amb la producció de púrpura durant l'Antiguitat. Així, s'han datat mostres d'aquests mol·luscs marins i, d'altra banda, mostres òssies d'herbívoros domèstics procedents, en els casos en què ha estat possible, dels mateixos contextos. Els materials del Pla de ses Figueres han revelat l'existència de processos postdeposicionals que han afectat la integritat dels ossos. En canvi, les mostres de Bóquer han permès realitzar per primera vegada el càlcul de l'edat del compartiment marí de  $^{14}\text{C}$  de les aigües costaneres de les Balears. El resultat és semblant a la mitjana mundial.

## Abstract

The concentration of the  $^{14}\text{C}$  in the ocean is different to the one of the atmosphere. This issue has to be taken into account when a radiocarbon date is performed on samples with a marine origin. It is necessary to know the  $^{14}\text{C}$  value of the regional marine reservoir at the time the organism was alive. A first attempt to measure the  $^{14}\text{C}$  concentration of the coastal waters of the Balearic Islands has been made using material from the archaeological sites of Pla de ses Figueres (Cabrera) and Bóquer (Pollença). Murex accumulations have been recorded in both of them, related to purple dye production in Antiquity. Samples of these mollusks together with domestic herbivore bones from the same contextual assemblages, when possible, have been dated. The materials from Pla de ses Figueres have revealed the existence of postdepositional processes which affected the integrity of the bones. Otherwise, the Bóquer samples have made it possible to measure for the first time the  $^{14}\text{C}$  marine reservoir age of the coastal waters of the Balearic Islands. The result is close to the world average.

## El mètode radiocarbònic i la necessitat del calibratge

La datació per radiocarboni és una de les principals tècniques emprades en arqueologia i geologia de l'Holocè per tal d'obtenir dades cronològiques. És un mètode simple des d'un caire general, però complex en els seus detalls (VAN STRYDONCK *et al.*, 1999). L'isòtop radioactiu del carboni ( $^{14}\text{C}$ ) es forma de manera contínua a l'atmosfera. Mitjançant la fotosíntesi i la dis-

solució a l'aigua (oceànica) aquest isòtop entra en forma de  $^{14}\text{CO}_2$  al cicle de la biosfera, és a dir, a la cadena alimentària (Figura 1). Un teòric equilibri dinàmic entre la formació i la descomposició provoca que la concentració de  $^{14}\text{C}$  a l'atmosfera sigui constant i, en conseqüència, que també ho sigui el nivell d'aquest isòtop als organismes vius. Quan un material orgànic abandona el cicle del carboni, tal com passa quan un animal o una planta moren, s'interromp l'intercanvi de carboni i, a causa de la desintegració radioactiva, es produirà un procés de minva constant en la proporció de  $^{14}\text{C}$ , la qual es veurà reduïda a la meitat cada 5730 anys. L'edat radiocarbònic-

- 1 Royal Institute for Cultural Heritage. Jubelpark 1. 1000 Brussel·les. Bèlgica
- 2 Societat d'Història Natural de les Balears (SHNB). C/ Margarida Xirgú, 16, 07011 Palma de Mallorca. Espanya

ca convencional, expressada amb el símbol BP (Before Present), serà obtinguda mitjançant la comparació de la concentració residual de  $^{14}\text{C}$  amb un referent modern. Així, el mètode de datació radiocarbònica permet calcular l'edat de materials de la biosfera terrestre tals com turba, ossos o carbons, a més d'elements més complexos com tèxtils o escultures. La dissolució en aigua també fa possible datar espeleotemes (estalagmites, colades...), restes òssies de peixos i copinyes (marines).

Per desgràcia, el ritme de producció del  $^{14}\text{C}$  no ha estat constant al llarg del temps, i això introdueix una discrepància entre l'edat radiocarbònica i l'escala real de temps. Aquesta diferència és deguda de manera dominant a dues tendències. En primer lloc, hi ha una tendència a llarg termini, una ona quasi sinoidal amb un període de varies desenes de mil·lennis. Aquesta tendència no és especialment perjudicial ja que tan sols provoca un "efecte harmònic" a l'escala de temps que pot ser compensat de manera bastant senzilla. En canvi, els anomenats "wiggles" o oscil·lacions provoquen una influència molt més dramàtica. Són pertorbacions de curta durada, no major a unes poques dècades, però poden assolir una amplitud d'un segle o més. Aquestes oscil·lacions (Figura 2) suposen un dels majors obstacles per aconseguir una datació radiocarbònica precisa. Ambdues tendències fan necessària la conversió de les edats radiocarbòniques a dates astronòmiques o reals, és a dir, el calibratge. Aquest procés es pot realitzar a partir de corbes de calibratge establertes dendrocronològicament i mitjançant programes informàtics específics desenvolupats per a aquest objectiu. Per desgràcia, la relació entre el contingut atmosfèric de  $^{14}\text{C}$  i el  $^{14}\text{C}$  dels mars/oceans no es fàcil de definir. Mentre la introducció del  $^{14}\text{C}$  a l'atmosfera i la seva assimilació per part de la biomassa són processos bastant ràpids, aquest no és el cas dels oceans. Existeix un procés constant d'absorció i rebuig de  $\text{CO}_2$  atmosfèric a la superfície marina i una difusió cap i des de les aigües profundes.

Com a resultat d'aquest fet el contingut de  $^{14}\text{C}$  a l'oceà és inferior al de l'atmosfera contemporània i, en segon lloc, les oscil·lacions del  $^{14}\text{C}$  a la biosfera marina són més suaus i no tan pronunciades com les existents a la terrestre (Figura 3). En conseqüència, la corba de calibratge terrestre no es pot fer servir per a mostres marines.

Quan es coneix la compensació del compartiment atmosfèric es pot realitzar la correcció d'aquesta aparent anomalia cronològica. Aquesta diferència o compensació (e.g., l'edat de  $^{14}\text{C}$  d'una mostra marina menys l'edat de  $^{14}\text{C}$  d'una mostra atmosfèrica coetània) s'expressa com "edat del compartiment de  $^{14}\text{C}$ ":  $R(t)$ , que no ha de ser necessàriament constant en el temps però sí uniforme a l'espai. L' $R(t)$  als oceans del món es pot precisar mitjançant l'ús d'una corba marina de calibratge derivada del modelat del compartiment de carboni (STUIVER *et al.*, 1986). A partir de la Figura 3b resta clar que aquesta compensació dels oceans ( $R$ ) fluctua en el temps. La corba de la mitjana mundial  $[R(t)]$  no representa les diferències oceàniques regionals en el contingut específic de  $^{14}\text{C}$ . Aquestes són causades en part per les variacions regionals en l'ascens d'aigües deficitàries en  $^{14}\text{C}$ , per la gran aportació d'aigua de formació recent, etc. El terme  $\Delta R$  representa les diferències d'activitat del  $^{14}\text{C}$  (en anys radiocarbònics) de les Lleis Mundials i de les Lleis Regionals de la Superfície de l'Oceà (STUIVER *et al.*, 1986; 1998; STUIVER & BRAZIUNAS, 1993). Pot ser calculat mitjançant la determinació i la comparació de l'edat radiocarbònica aparent de material terrestre d'una banda, i marí de l'altra, que coexistiren al mateix moment. A causa dels ràpids i localitzats canvis del contingut de  $^{14}\text{C}$  a la biosfera en temps recents (per efecte dels combustibles fòssils, de les proves d'armes nuclears, dels abocaments de residus, etc.), els materials moderns i semimoderns no són adequats per a aquest tipus de comparació. Les restes arqueològiques resulten molt millors però la contemporaneïtat entre els materials arqueològics terrestres i marins és sovint difícil de provar.

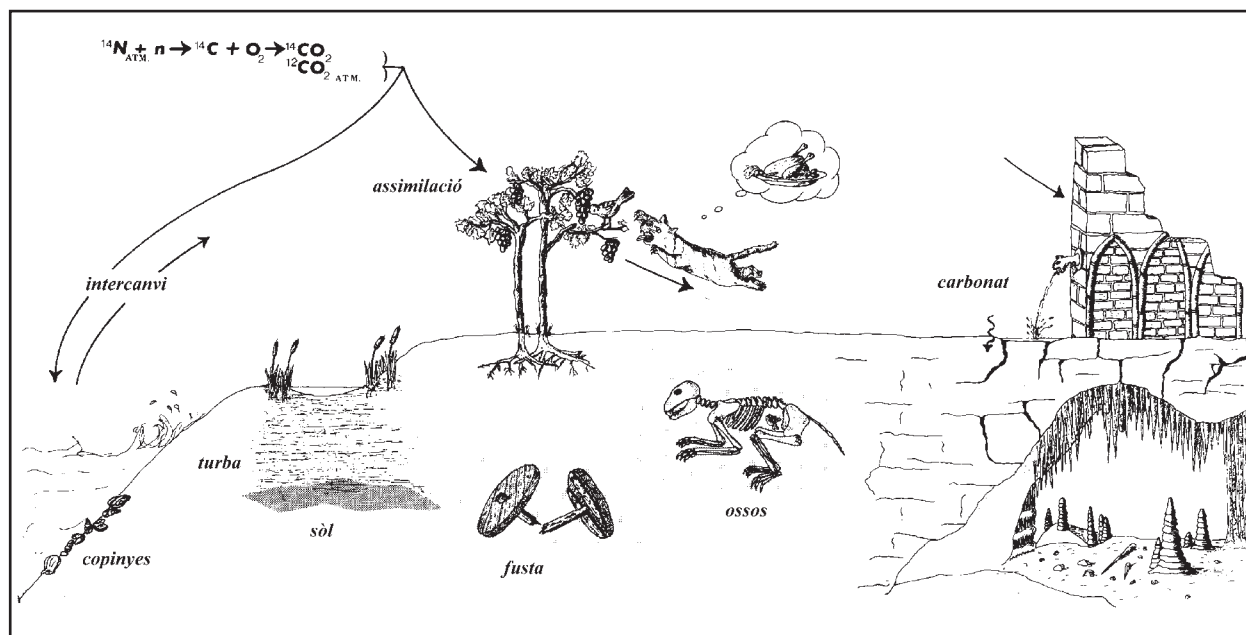


Figura 1: El cicle del carboni.

Figure 1: The carbon cycle.

## Cabrera i Bóquer

Per tal de trobar materials sincrònics d'origen terrestre i marí es va plantejar la idoneïtat dels jaciments arqueològics de les illes Balears d'època romana i de l'Antiguitat tardana on hi havia evidències de l'explotació de múrex (COSTA, 2009).

Els mol·luscs de múrex eren fets servir per extreure la matèria primera a partir de la qual s'obtenia el famós colorant de púrpura. És pràcticament segur que eren processos immediatament després de la seva recol·lecció (e.g. ALFARO & TÉBAR, 2004). Així, si aquests caragols marins són trobats en un context arqueològic amb carbons o ossos d'animals, la seva sincronia està gairebé garantida.

D'aquesta manera es va contactar amb els responsables dels projectes arqueològics de Cabrera i de Bóquer, els quals varen facilitar els materials i la informació necessària per a la realització del present estudi.

L'any 1999 es va posar en marxa el projecte arqueològic per documentar les evidències del monestir paleocristià a l'illa de Cabrera esmentat a una epístola del papa Gregori Magne datada l'any 603. En els anys posteriors s'han realitzat excavacions a les immediacions del port de Cabrera i s'han localitzat diferents zones relacionades amb aquest complex monacal de l'Antiguitat tardana (RIERA, 2010). Una d'elles és la necròpolis, la qual es va situar sobre un possible taller de porpra immediatament anterior (RIERA & RIERA, 2005), amb una concentració d'aquests mol·luscs (RAMIS & PONS, 2005).

L'any 2001 es varen iniciar les excavacions arqueològiques al lloc conegut com el Pedret de Bóquer, a les immediacions del port de Pollença. A partir de la documentació epigràfica recuperada a l'entorn, aquest jaciment havia estat identificat hipotèticament com la *Civitas Bocchoritana* esmentada a les fonts clàssiques. A les campanyes inicials es varen identificar un nivell d'ocupació immediatament anterior a la conquesta romana i un altre que es va datar —a partir de les tipologies ceràmiques— en el segle III de la nostra era (ESTARELLAS & MERINO, 2005). A les darreres campanyes es va identificar una cubeta d'època romana revestida de morter i, relacionada amb ella, una concentració significativa de mol·luscs marins, especialment d'aquelles espècies relacionades amb la producció de múrex, a les quals a més es va documentar amb profusió el patró de trencament propi d'aquesta activitat.

## Materials i mètode

Es va extreure el col·lagen de les mostres òssies (LONGIN, 1971). Es va avaluar la qualitat de les mostres obtingudes a partir de la relació de  $\delta^{13}\text{C}/\delta^{15}\text{N}$ , l'aspecte visual i la proporció de col·lagen recuperat (VAN STRYDONCK *et al.*, 2005).

La neteja de les restes malacològiques va consistir en la retirada de la seva capa superficial. La qualitat de les mostres es va avaluar a partir de la mesura de  $\delta^{13}\text{C}$

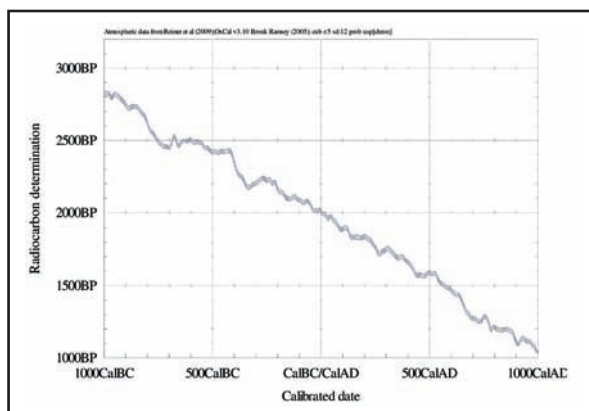


Figura 2: Relació entre les edats radiocarbònica i calendàrica (calibrada) entre 1000 BC i 1000 AD.

Figure 2: Relation between the radiocarbon age and the calendar (calibrated) age between 1000 BC and 1000 AD.

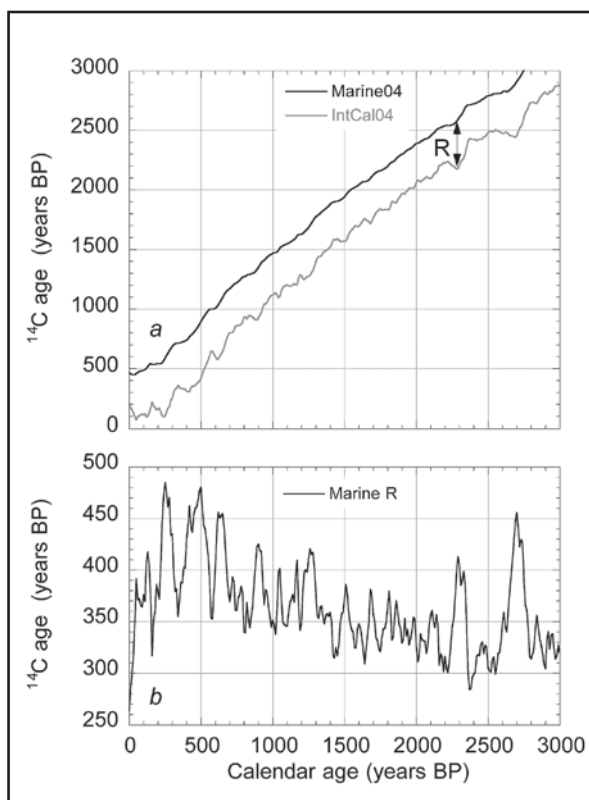


Figura 3: La compensació global  $R(t)$  entre 0 i 3000 anys calendàrics BP (segons Hughen *et al.*, 2004).

Figure 3: The global offset  $R(t)$  between the atmosphere and the oceans surface waters between 0 and 3000 calendar years BP (after Hughen *et al.*, 2004).

(les mostres marines contenen  $\delta^{13}\text{C} > 0\text{‰}$ ) i es va mesurar l'estructura cristal·lina per XRD. Els càlculs d'XRD són necessaris degut a que, en el cas dels carbonats marins, la contaminació apareix normalment en forma de calcita secundària pobre en magnesi, el polimorf estable del carbonat de calci ( $\text{CaCO}_3$ ) i resultat de la recristal·lització o reemplaçament de la fase autòctona, originalment en la forma de calcita rica en magnesi o aragonita. Depe-



Figura 4: Mostra de copinyes de múrex de l'espècie *Trunculariopsis trunculus* procedents del jaciment del Pla de ses Figueres (Cabrera), que presenten el patró de trencament característic de l'obtenció de porpra.

Figure 4: Murex seashells *Trunculariopsis trunculus* from the site of Pla de ses Figueres (Cabrera), with the characteristic breakage pattern related to purple dye obtention.



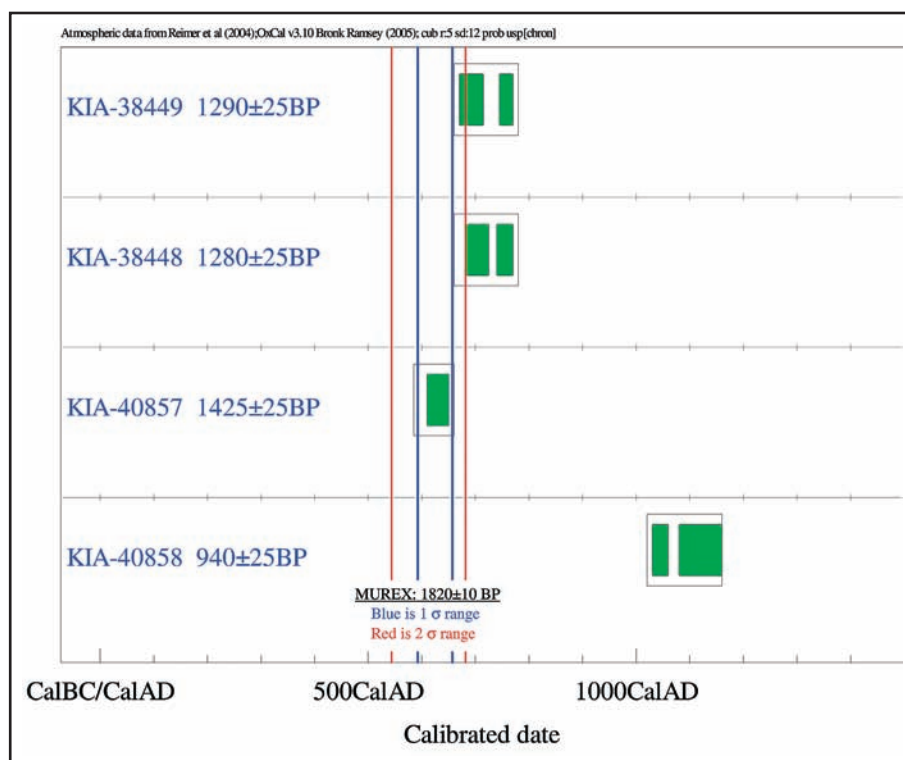


Figura 5: Les dates radiocarbòniques calibrades de les mostres terrestres de Cabrera comparades amb la mitjana de les dates de múrex calibrades amb la corba marina ( $\Delta R=26\pm24$ ).

Figure 5: The calibrated radiocarbon dates of the terrestrial samples from Cabrera compared to the average murex date calibrated with the marine curve ( $\Delta R=26\pm24$ ).

nent de la natura de l'ambient deposicional, la fase de recristal·lització pot ser cronològicament contemporània al  $\text{CaCO}_3$  original del mol·lusc i fins i tot pot haver derivat d'ell per reaccions de dissolució-recristal·lització, o pot ser un contaminant exogen amb una edat més antiga o moderna (DOUKAA *et al.*, en prep.).

Les mostres varen ser preparades per a la datació de  $^{14}\text{C}$  (VAN STRYDONCK & VAN DER BORG, 1990-91) i mesurades per AMS (NADEAU *et al.* 1998).

## Resultats i discussió

### BÓQUER

Les mostres de Bóquer (Taula 1) varen oferir uns resultats coherents. El contingut de col·lagen de les mostres d'os era baix —com ja s'esperava a causa de la superficialitat dels nivells de procedència—, però la seva

Referència	Mostra	Referència laboratori	% col·lagen	Aspecte del col·lagen	BP	$\pm 1\sigma$	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	$\delta^{15}\text{N}$ ‰	C/N	% aragonita	% calcita
BO6 UE 401	Herbívor dom.	KIA-38439	3,36	Blanc i fibrós	1605	25	-20,15	+6,10	3,2		
BO6 UE 501 A	Boví	KIA-38442	0,79	Blanc i fibrós	1705	25	-19,97	+4,67	3,2		
BO6 UE 501 B	Herbívor dom.	KIA-38447	3,00	Blanc i fibrós	1675	25	-19,73	+4,85	3,2		
BO6 UE 501 C	Caprí	KIA-38446	3,33	Lleugerament groc i fibrós	1695	25	-19,02	+6,51	3,3		
BO6 UE 401	Múrex	KIA-38440			1980	25	+2,17			100,00	
BO6 UE 501 A	Múrex	KIA-38443			2065	25	+2,42			100,00	
BO6 UE 501 B	Múrex	KIA-38444			2050	30	+1,96			83,80	16,20
BO6 UE 501 C	Múrex	KIA-38445			2070	25	+2,46			100,00	

Taula 1: Resultats de les mostres de Bóquer

Table 1: Results of the Bóquer samples

BO6 UE 401	41±52
BO6 UE 501A	7±53
BO6 UE 501B	33±40
BO6 UE 501C	18±54
Mitjana	26±24

Taula 2:  $\Delta R$  (en anys de radiocarboni) calculat per a les mostres de Bóquer

Taula 2: Calculated  $\Delta R$  (radiocarbon years) for the Bóquer samples

PF UE 116-1/UE155-1	91±58
PF UE 116-2/UE155-2	157±54
PF05UE263	65±29
PF05UE265	478±58
PF05UE305	168±54

Taula 3:  $\Delta R$  (en anys de radiocarboni) calculada per a les mostres de Cabrera

Table 3: Calculated  $\Delta R$  (radiocarbon years) for the Cabrera samples

qualitat era bona. En segon lloc, 3 de les 4 closques de múrex eren aragonita pura, mentre que la restant també contenia calcita. Tenint en compte l'edat radiocarbònica i les mesures d'isòtops estables, la presència de calcita deu ser deguda a una recristal·lització i no a un reemplaçament de carboni.

El  $\Delta R$  local es pot calcular (Taula 2) fent servir el programa de conversió desenvolupat per P.J. Reimer (School of Geography, Archaeology and Palaeoecology, Queen's University, Belfast). En el cas de Bóquer la mitjana dels valors de  $\Delta R$  és de 26±24.

L'edat històrica calibrada dels dos nivells a partir de les mostres terrestres es pot calcular segons es descriu a la Taula 4. Així, el context de la UE401 se situaria a un moment entre els anys 400 i 540 AD, mentre la cronologia per a la UE501 es trobaria entre 260 i 410 AD.

## CABRERA

Les mostres d'ossos de Cabrera presentaven un nivell de conservació molt millor que les de Bóquer. D'altra banda, totes les mostres de múrex contenien calcita, també considerada com a producte d'una recristal·lització i no d'un reemplaçament.

Calibratge de les datacions de $^{14}\text{C}$ de Bóquer	68.2% probabilitat	95.4% probabilitat
UE 401 1605±25BP	410-440AD (24.4%) 480-540AD (43.8%)	400-540AD
UE 501 Mitjana dels 3 resultats 1692±14BP	335-395AD	260-290 AD ( 9.7%) 320-410 AD (85.7%)

Taula 4: Calibratge de les datacions de  $^{14}\text{C}$  de Bóquer

Table 4: Calibration of  $^{14}\text{C}$  dating from Bóquer

Referència	Mostra	Referència laboratori	% col·lagen	Aspecte col·lagen	BP	± 1σ	δ $^{13}\text{C}$ ‰	δ $^{15}\text{N}$ ‰	C/N	% aragonita	% calcita
Primera prova											
PF 03 UE 116-1	Caprí	KIA-38449	5,25	Blanc i fibrós	1290	25	-19,02	+8,43	3,2		
PF 03 UE 116-2	Caprí	KIA-38448	1,80	Blanc i fibrós	1280	25	-19,01	+8,50	3,2		
UE 155-1	Múrex	KIA-38456			1765	25	+0,90			91,70	8,30
UE 155 -2	Múrex	KIA-38441			1825	25	+1,29			87,60	12,40
Segona prova											
PF 05 UE 263	Caprí	KIA-40857	6,10	Blanc i fibrós	1425	25	-19,56	6,18	3,1		
PF 05 UE 265	Caprí	KIA-40858	8,40	Blanc i fibrós	940	25	-19,34	7,00	3,1		
PF 05 UE 305	Caprí	KIA-40859	3,50	Blanc i fibrós	1285	25	-19,72	6,18	3,1		
PF 05 UE 263	Múrex	KIA-40789			1855	20	+0,4217			90,90	9,10
PF 05 UE 265	Múrex	KIA-40788			1800	25	+1,07			89,80	10,20
PF 05 UE 305	Múrex	KIA-40790			1840	20	+1,54			85,50	14,50

Taula 5: Resultats de les mostres de Cabrera

Table 5: Results of the Cabrera samples

Al primer assaig es varen comparar dos ossos de caprí domèstic i dues mostres de múrex procedents de diferents contextos que, no obstant, provisionalment es consideraven sincrònics en base a criteris arqueològics. En canvi, aquesta sincronia d'ambdós contextos va ser qüestionada degut a que les diferències entre les dates de radiocarboni de les mostres òssies d'una banda i dels mol·luscs marins de l'altra eren molt superiors a les del cas de Bóquer. D'aquesta manera es va decidir datar altres 3 nivells. Desafortunadament, l'amplitud cronològica dels resultats es va mantenir, sense poder establir amb un 95 % de probabilitat que el suposat  $\Delta R$  calculat dels cinc contextos fos el mateix.

No obstant, existeix una sincronia remarcable entre les dates de les mostres de múrex. Existeix fins i tot el 95 % de probabilitat que totes elles presentin la mateixa edat de radiocarboni (amb una mitjana de  $1820 \pm 10$  BP). Així que resulta realístic suposar que totes elles pertanyen al mateix fet històric però que, en canvi, alguns dels ossos que les acompanyaven han patit processos de redeposició i no es troben in situ. A més, el resultat de la datació sobre l'os de caprí PF05-UE265 és incompatible amb l'atribució cultural de l'explotació de múrex a l'època romana o a l'Antiguitat tardana.

Fins que no es demostrí el contrari no hi raó per creure que l'edat del compartiment marí a ambdós extrems de Mallorca sigui diferent. Així, amb el calibratge de la data mitjana del múrex de Cabrera emprant els valors de  $\Delta R$  obtinguts per a Bóquer ( $26 \pm 24$ ), es pot comparar aquesta data amb les obtingudes a partir dels ossos de caprí domèstic. L'ús de les copinyes de múrex se situa entre 592-654 cal AD (interval  $1\sigma = 68.2$  % de probabilitat) i 555-674 cal AD (interval  $2\sigma = 95.4$  % de probabilitat). En canvi, només una de les mostres terrestres (PF05, UE263) s'adiu amb aquesta cronologia.

## Conclusions

La coherència dels resultats entre les mostres de múrex i les mostres d'ossos terrestres a dos nivells diferents del jaciment de Bóquer permeten la possibilitat de calcular el  $\Delta R$  local en  $26 \pm 24$  anys radiocarbònics.

Això suposa que l'edat local del compartiment marí és propera a la mitjana mundial. Aquest fet és el que es podria esperar a causa de l'escassa profunditat de la mar Mediterrània al voltant l'illa de Mallorca, la qual permet un bon intercanvi amb l'atmosfera i també provoca l'absència d'ascensions d'aigua antiga procedent de les profunditats marines.

Aquestes dates són semblants a les disponibles per a Sicília ( $\Delta R = 15 \pm 35$ ) i a algunes dades del nord d'Àfrica ( $\Delta R = 60 \pm 35$  i  $-43 \pm 83$ ). En canvi, al golf de Lleó els valors mesurats de  $\Delta R$  se situen entre  $710 \pm 30$  i  $-105 \pm 75$  (PELC, 1995). Aquestes àmplies diferències són degudes probablement a la gran quantitat d'aigua aportada pel riu Roine. Depenent de l'estació de l'any, el Roine transporta a la Mediterrània un gran volum d'aigua glacial molt antiga o d'aigua moderna de pluja. Això pot explicar les grans diferències a les dades. Malgrat el corrent marí est-oest al llarg del litoral francès i ibèric

(LACOMBE & TCHERNIA, 1972), no hi ha un "efecte Roine" visible a les dades de Mallorca.

No ha estat possible fer servir els materials de Cabrera per a aquest propòsit. Encara que les datacions de múrex d'aquest segon jaciment són molt coherents, l'àmplia dispersió en les datacions efectuades sobre ossos de caprí domèstic demostra la mescla de materials provinents de fets arqueològics cronològicament diferents. Aquest fet posa de manifest que, malgrat es garanteixi la qualitat de les mostres analitzades, també s'ha de tenir en compte la seva integritat.

## Agraïments

Aquest estudi ha estat finançat pel projecte europeu *DressID: Clothing and Identities. New Perspectives on textiles in the Roman Empire*. Els directors dels projectes arqueològics de Bóquer —Marilena Estarellas i Josep Merino— i de Cabrera —Mateu Riera i la Dra. Magdalena Riera— varen cedir els materials necessaris i varen donar totes les facilitats per poder dur a terme aquest estudi.

## Bibliografia

- ALFARO, C. & TÉBAR, E. 2004. Aspectos históricos, económicos y técnicos de la producción de púrpura en la ibiza romana. In ALFARO, C.; WILD, J.P., COSTA, B. (eds.), *Purpureae Vestes. I Symposium Internacional sobre Textiles y Tintes del Mediterráneo en época romana (Ibiza, 8 al 10 de noviembre, 2002)*. Eivissa: Consell Insular d'Eivissa i Formentera: 195-210.
- COSTA, B. 2009. La investigación de tejidos y tintes de la Antigüedad desde una perspectiva arqueológica: problemas y oportunidades. In ALFARO, C.; TELLENBACH, M. & FERRERO, R. (eds.), *Textiles y Museología. Aspectos sobre el Estudio, Análisis y Exposición de los Textiles Antiguos y de los instrumentos textilia. Actas del I Meeting General (Valencia-Ontinyent, 3-5 de diciembre de 2007)*. València: Universitat de València: 121-141.
- DOUKAA, K.; HEDGES, R.E.M. & HIGHAM, T.F.G. En prep. Improved AMS 14C dating of shell carbonates using high-precision X-Ray Diffraction (XRD) and a novel density separation protocol. *Radiocarbon*.
- ESTARELLAS, M.M. & MERINO, J. 2005. Treballs arqueològics preliminars al Pedret de Bóquer. In SÁNCHEZ, M.L. & BARCELÓ, M. (coord.), *L'Antiguitat clàssica i la seva pervivència a les illes Balears. XXIII Jornades d'Estudis Històrics Locals (Palma, del 17 al 19 de novembre de 2004)*. Palma: Institut d'Estudis Balearics: 377-393.
- HUGHEN, K.A.; BAILLIE, M.G.L.; BARD, E.; BECK, J.W.; BERTRAND, C.J.H.; BLACKWELL, P.G.; BUCK, C.E.; BURR, G.S.; CUTLER, K.B.; DAMON, P.E.; EDWARDS, R.L.; FAIRBANKS, R.G.; FRIEDRICH, M.; GILDERSON, T.; KROMER, B.; MCCORMAC, G.; MANNING, S.; RAMSEY, C.B.; REIMER, P.J.; REIMER, R.W.; REMMELE, S.; SOUTHON, J.R.; STUIVER, M.; TALAMO, S.; TAYLOR, F.W.; VAN DER PLICHT, J. & WEYHENMEYER, C.E. 2004. Marine04 Marine radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. *Radiocarbon*, 46 (3): 1059-1086.
- LACOMBE, H. & TCHERNIA, P. 1972. Caractères hydrologiques et circulation des eaux en Méditerranée. In STANLEY, J.D. (ed.) *The Mediterranean sea*. Stroutsberg, Pennsylvania: Stanley Dowden, Hutchison and Ross: 25-36.

- LONGIN, R. 1971. New method of collagen extraction for radiocarbon dating. *Nature*, 230: 241-242.
- NADEAU, M.-J.; GROOTES, P.M.; SCHLIECHER, M.; HASSELBERG, P.; RIECK, A. & BITTERLING, M. 1998. Sample throughput and data quality at the Leibniz-Labor AMS facility. *Radiocarbon*, 40: 239-245.
- PELC, V. 1995. Approche méthodologique de la chronométrie  $^{14}\text{C}$  de l'Holocène marin en Méditerranée, à partir des tests calcaires. Lió: Universitat de Lió (DEA «Paléontologie, Dynamique sédimentaire et Chronologie»).
- RAMIS, D. & PONS, G.X. 2005. Producció de colorant de púrpora a l'illa de Cabrera. *Bolletí de la Societat Arqueològica Lul·liana*, 61: 387-390.
- RIERA, M. 2010. Pla de ses Figueres (Isla de Cabrera, Balears). In MORÍN, J.; LÓPEZ QUIROGA, J. & MARTÍNEZ TEJERA, A. (eds.), *El tiempo de los "bárbaros". Pervivencia y transformación en Galia e Hispania (ss. V-VI d. C.)*. Madrid: Museo Arqueológico Regional, Zona Arqueológica, 11: 581-594.
- RIERA, M.M., RIERA, M. 2005. Un possible taller de producció de porpra de l'antiguitat tardana al pla de ses Figueres (illa de Cabrera), a *Bolletí de la Societat Arqueològica Lul·liana*, 61: 377-390.
- STUIVER, M.; REIMER, P.L. & BRAZIUNAS, T.F. 1998. High-precision radiocarbon age calibration for terrestrial and marine samples. *Radiocarbon*, 40(3): 1127-1154.
- STUIVER, M. & BRAZIUNAS, T.F. 1993. Radiocarbon and  $^{14}\text{C}$  ages of marine samples to 10,000 B.C. *Radiocarbon*, 35: 137-189.
- STUIVER, M.; PEARSON, G.W. & BRAZIUNAS, T.F. 1986. Radiocarbon Age Calibration of Marine Samples Back to 9000 cal yr BP. *Radiocarbon*, 28(2B): 980-1021.
- VAN STRYDONCK, M. & VAN DER BORG, K. 1990-91. The construction of a preparation line for AMS-targets at the Royal Institute for Cultural Heritage Brussels. *Bulletin KIK/IRPA*, 23: 228-234.
- VAN STRYDONCK, M.; NELSON, D.E.; CROMBÉ, P.; BRONK RAMSEY, C.; SCOTT, E.M.; VAN DER PLICHT, J. & HEDGES, R.E.M. 1999. *What's in a  $^{14}\text{C}$  date*. In EVIN, J.; OBERLIN, C.; DAUGAS, J.-P. & SALLES, J.-F. (eds.), *3rd International Symposium  $^{14}\text{C}$  and Archaeology*. Mémoires de la Société Préhistorique Française 26/ Supplément de la Revue d'Archéométrie: 433-448.
- VAN STRYDONCK, M., BOUDIN, M. & ERVYNCK, A. 2005. Humans and Myotragus: the issue of sample integrity in radiocarbon dating. In ALCOVER, J.A. & BOVER, P. (eds.), *Proceedings of the International Symposium "Insular Vertebrate Evolution: the Palaeontological Approach"*. Palma: Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears, 12: 369-376.